UNL • FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS HÍDRICAS

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas

Ingeniería en Inteligencia Artificial

Introducción a los Sistemas Ciber-Físicos

Docentes: Carrique, Juan; Molas Gimenez, Tomás; Zorzet, Bruno; Borzone, Eugenio.

Proyecto Final Compostera

Fecha de entrega: 28/11/24

Grupo nº: 9

Alumnos: Brown, Juan Cruz; Faule, Ignacio; González, Constantino; Martinez, Aaron; Medina, Juan Francisco; Moine, María; Ríos, Alesio.

Índice

Índice 1
Resumen 2
Objetivos 3
Descripción del Sistema 4
Diagrama de Bloques 4
Frecuencia de monitoreo de las variables del sistema 6
Algoritmos Principales 7
Diagrama de Estados 7
Diagrama de Flujo 8
Referencia al gemelo digital 8
Apartado de Energía 9
Sensor BME280 9
Sensor DS18B20 9
Sensor A3144 9
LED 9
Consumo del Sistema 10
Descripción del Tipo de Gabinete 10
Aprendizajes y evidencias 12
Referencias 13
Anexo 14
Lista de Cálculos: 14
Ampliación aprendizaje: 15

Resumen

El compostaje es un proceso biológico controlado que, bajo condiciones aeróbicas y termófilas, transforma la materia orgánica en un producto estable y nutritivo conocido como compost. Este proceso no solo permite la reducción de residuos orgánicos, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental al devolver nutrientes al suelo. La Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH), ha implementado un sistema de compostaje que utiliza residuos generados en la institución, principalmente yerba y chips de poda, como materia prima en la creación de compost.

El proceso de compostaje se desarrolla en cuatro etapas: fase mesófila I, fase termófila, fase mesófila II y fase de maduración. Cada una de estas fases es crucial para garantizar la descomposición efectiva de la materia orgánica y la eliminación de patógenos. La monitorización de variables físicas, como la temperatura y la humedad, es esencial para asegurar que las condiciones óptimas se mantengan durante el proceso. La incorporación de sensores en la compostera permitirá un monitoreo y control mucho más riguroso de la creación de compost, facilitando la gestión del proceso y mejorando la calidad del compost producido.

La implementación de un sistema de compostaje en la FICH, sumado a los sensores y la tecnología de monitoreo, no solo optimiza la transformación de residuos orgánicos en compost y reduce los desechos producidos por la institución, sino que también promueve prácticas amigables con el medio ambiente.

Este trabajo práctico busca desarrollar un modelo de compostera que integre sensores para el control y monitoreo de las condiciones del proceso, permitiendo la obtención de compost de altísima calidad y contribuyendo a la formación de un entorno más saludable y sustentable.

Objetivos

Partimos de la idea central: “¿Qué magnitudes son relevantes de sensar en la compostera?” para poder definir el objetivo de nuestro sistema de monitoreo. En este contexto, entendemos que no se trata de medir una única magnitud, sino varias que juntas proporcionan una imagen precisa del estado y progreso del compostaje. Entre las diversas opciones, encontramos magnitudes que resultan más complejas y costosas de monitorear, así como otras que son más accesibles y sencillas. Tras un análisis comparativo, decidimos enfocarnos en la humedad y la temperatura, siendo esta última una de las más significativas, ya que está estrechamente relacionada con las condiciones biológicas y químicas del compostaje.

Una vez definidas las magnitudes clave, comenzamos a estructurar un plan de acción práctico y eficiente que nos permitiera avanzar de manera ordenada y práctica. Durante este proceso, enfrentamos diversos desafíos, tales como la precisión de los sensores, la disponibilidad y calidad de los dispositivos, y las especificaciones técnicas mínimas requeridas para un monitoreo efectivo. A medida que resolvemos estos obstáculos, construimos nuestro proyecto y adaptando nuestro objetivo a la par:

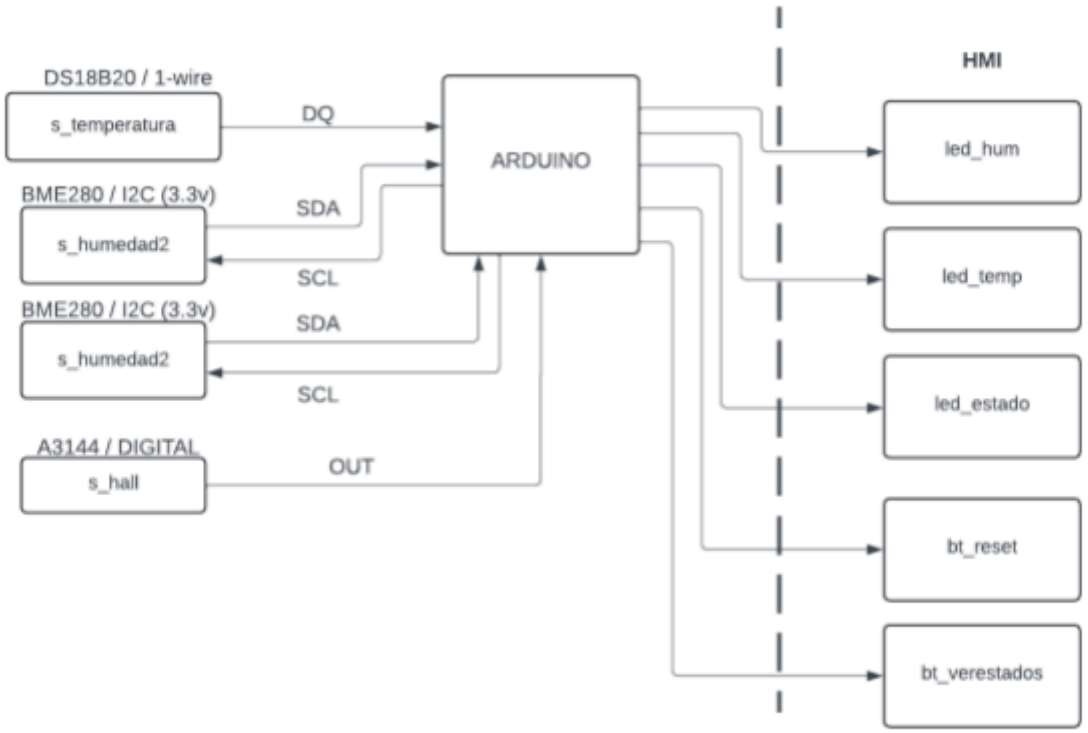
“**Monitorear el comportamiento de la compostera, sin dañar los elementos, y de la forma más precisa**”.

De este modo, este objetivo se convirtió en nuestro objetivo general. Pero, se fue modificando a lo largo del trabajo, volviéndose cada vez más específico:

“**Monitorear la temperatura y la humedad de la compostera, una vez por día, para informar si se produjo un cambio en el proceso de compostaje**”.

Descripción del Sistema

Diagrama de Bloques.



Se obviaran las conexiones de tension y GND. Se consideran que los elementos conectados utilizan tensiones de 5V. De lo contrario, se aclararán las tensiones

Sensores:

BME280: Se optó por este sensor debido a sus prestaciones de alto valor (magnitudes que es capaz de medir, protocolos a disposición, digital), además de tener un costo económico y coincidente con el proyecto desarrollado.

- Protocolo: se eligió el protocolo I^2C debido a la simplicidad y la mínima cantidad de pines necesarios.
- Voltaje de operación / Alimentación: 1,71V a 3,6V.
- Rango de medición: 40°C a 85°C(temperatura con ±1,5°C de exactitud), 0 - 100% (humedad relativa con ±3% de exactitud).
- Consumo: 2.9 µA, 9.57mWh en estado activo y 0.00033 mWh en reposo.
- Datasheet: https://www.alldatasheet.com/view_datasheet.jsp?Searchword=BME280

Se eligió como proveedor de este sensor a Bosch Sensortec debido a que son los creadores originales de este sensor. Además, reducimos el riesgo de que hayan sido adulterados o dañados por terceros en el proceso de distribución.

DS18B20: Es relativamente sencillo de implementar por su protocolo one-wire, a la hora de programarlo se adjuntan librerías DallasTemperature.h [2] y OneWire.h [3] .

- Protocolo: OneWire.
- Voltaje de operación / Alimentación: 3V A 5.5V.
- Rango de medición: -55°C a 125°C.
- Programa: Ver en referencias [1]
- Consumo: 0.0005 mWh en estado de reposo y 7.5 mWh durante la medición.
- Datasheet: https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/58557/DALLAS/DS18B20.html

Se eligió a Duaitek como proveedor de este sensor ya que ofrece este producto a un precio muy económico en comparación con otros proveedores consultados.

A3144: Sensor de efecto Hall. Se eligió este sensor debido a su disponibilidad, precio y facilidad de uso. Es un sensor de efecto hall que trabaja como un switch, que es lo que se buscaba.

- Protocolo: Es de salida Digital
- Voltaje de Operación: 5V
- Consumo: 9-5 mA o bien 45-25 mWh, 1mA ó 5 mWh en reposo.
- Datasheet:https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/55092/ALLEGRO/A3144.html

El proveedor será Candy-Ho debido a su precio competitivo y su reputación en el mercado.

LED:

3 LED 5mm Alta Luminosidad: Se eligieron por ser de alta luminosidad y bajo consumo energético. Sus tamaños pequeños los hacen prácticos. Además, tienen una larga vida útil y son fáciles de integrar en circuitos electrónicos.

Característica	**Descripción**
Diámetro	5mm
Voltaje de operación	3.0 V - 3.2 V
Corriente de operación	20 mA
Temperatura de operación	-40°C a +85°C
Vida útil	50,000 horas (aprox.)

Botón:

CP1-10R-01: Pulsador de ABB. Se eligió porque es confiable, resistente y adecuado para aplicaciones industriales, ofreciendo durabilidad y un funcionamiento consistente para nuestro sistema.

- Tipo de botón: Plano y Táctil.
- Diseño de la lente: Redondo.
- Diámetro del orificio: 22mm.
- Tensión de alimentación: 3V.
- Tipo de actuador: Flush.
- Datasheet: https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1SFC151007C02__

Frecuencia de monitoreo de las variables del sistema

Se optó por sensar la temperatura y humedad de la compostera una vez por día. Esta decisión conlleva ventajas y desventajas.

Una de las ventajas principales es el ahorro de energía. Sensar solo una vez por día reduce el consumo energético. Además alivia la carga de procesamiento del microcontrolador, lo que puede contribuir a una mayor duración de la batería.

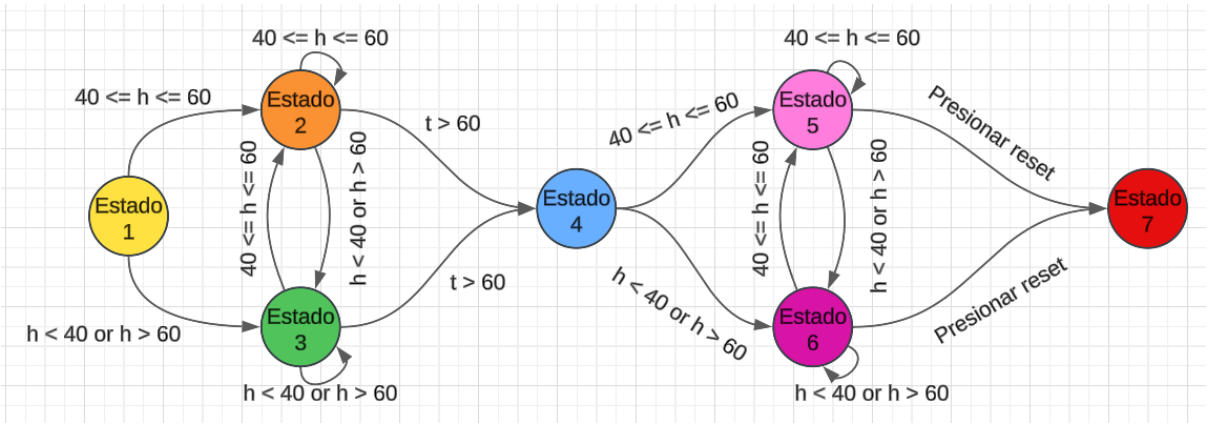
Por otra parte, el compost se desarrolla de manera lenta y gradual (de 4 a 6 meses). Los cambios de temperatura no suelen ser muy drásticos, por lo que una medición diaria resulta suficiente para monitorear el desarrollo general del compost. Este se desarrolla muy lentamente, por lo que no es necesaria una alta frecuencia en los monitoreos para observar tendencias significativas en el desarrollo de este producto.

Sin embargo, esta frecuencia de muestreo tiene sus desventajas. En primer lugar, se pueden pasar por alto cambios rápidos o eventos críticos. Por ejemplo, cuando se introduce nueva materia orgánica en la compostera, se pueden producir cambios repentinos de temperatura o humedad debido a la actividad microbiana. Dichos fenómenos serían ignorados por los sensores en la mayoría de las ocasiones.

Por otro lado, se pierde la posibilidad de encontrar patrones o tendencias a corto plazo (como ciclos de temperatura o la relación entre la humedad de la compostera y la humedad externa) que podrían ser de utilidad para mejorar o acelerar el tiempo de producción de compost.

Algoritmos Principales

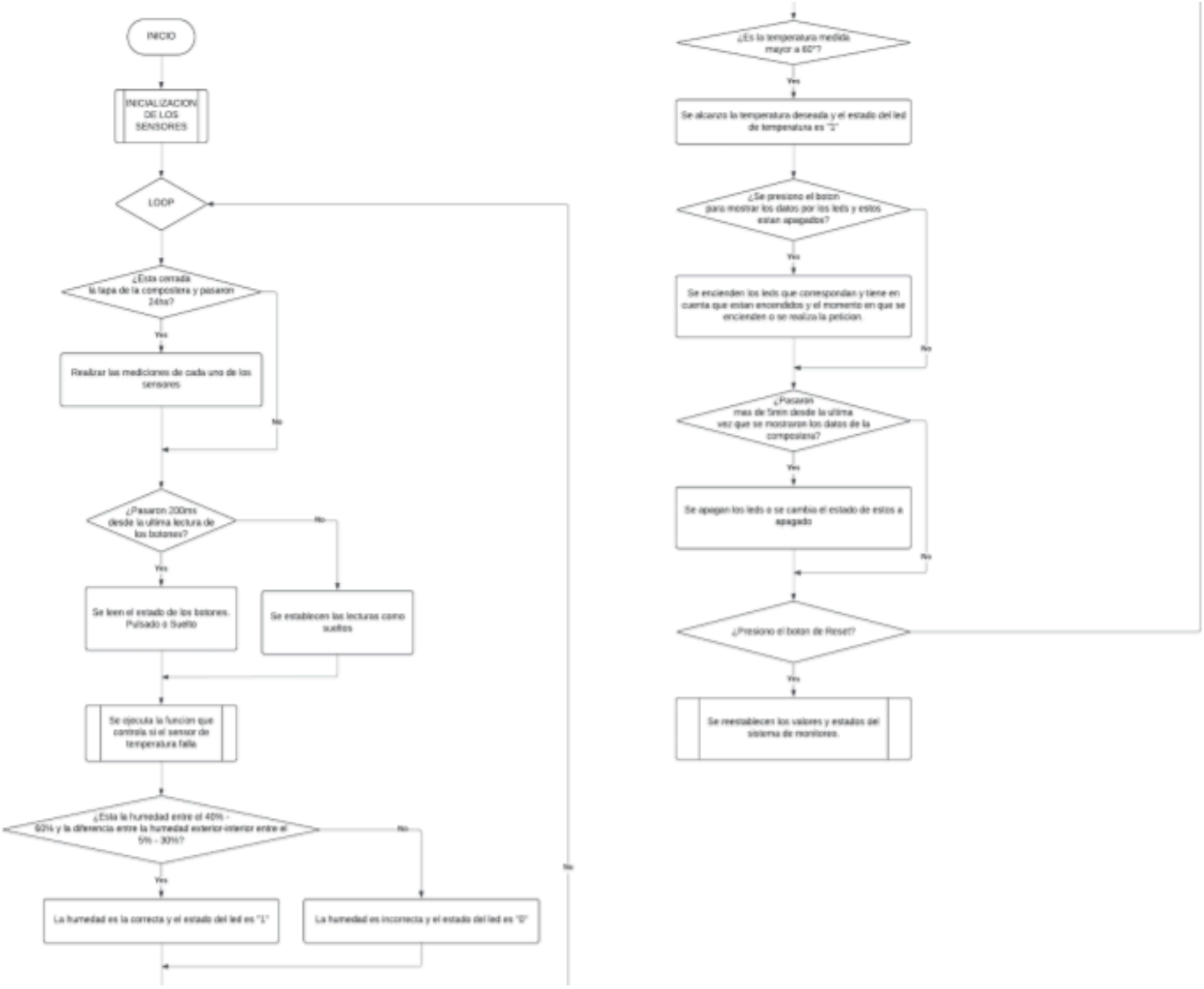
Diagrama de Estados



Descripción de los estados:

- Estado 1: Es el estado inicial de la compostera, el compartimento está vacío.
- Estado 2: El material a compostar tiene la humedad adecuada (entre 40% y 60%) pero todavía no supera la temperatura de referencia (60°).
- Estado 3: El material a compostar no tiene la humedad adecuada (entre 40% y 60%) y todavía no supera la temperatura de referencia (60°).
- Estado 4: Es un estado de decisión, o bien un estado de paso, en el cual el material de compostaje supera la temperatura esperada (60°).
- Estado 5: El material a compostar tiene la humedad adecuada (entre 40% y 60%) y la temperatura supera a lo esperado (60°)
- Estado 6: El material a compostar no tiene la humedad adecuada (entre 40% y 60%) y la temperatura supera a lo esperado (60°)
- Estado 7: Reset. La compostera vuelve a estar vacía y se borran todos los datos leídos.

Diagrama de Flujo


INICIO
INICIALIZACION DE LOS SENSORES
LOOP
¿Esta cerrada la tapa de la compostera y pasaron 24hs?
Yes
Realizar las mediciones de cada uno de los sensores
No
¿Pasaron 200ms desde la ultima lectura de los botones?
No
Yes
Se leen el estado de los botones. Pulsado o Suelto
Se establecen las lecturas como sueltos
Se ejecuta la funcion que controla si el sensor de temperatura falla
¿Esta la humedad entre el 40% - 60% y la diferencia entre la humedad exterior-interior entre el 5% - 30%?
No
Yes
La humedad es la correcta y el estado del led es "1"
La humedad es incorrecta y el estado del led es "0"
No
¿Es la temperatura medida mayor a 60°?
Yes
Se alcanzo la temperatura deseada y el estado del led de temperatura es "1"
¿Se presiono el boton para mostrar los datos por los leds y estos estan apagados?
Yes
Se encienden los leds que correspondan y tiene en cuenta que estan encendidos y el momento en que se encienden o se realiza la peticion.
No
¿Pasaron mas de 5min desde la ultima vez que se mostraron los datos de la compostera?
Yes
Se apagan los leds o se cambio el estado de estos a apagado
No
¿Presiono el boton de Reset?
Yes
Se reestablecen los valores y estados del sistema de monitoreo.

El siguiente diagrama de flujo refiere al modelo final del gemelo digital de la compostera. Se comienza la lectura por la izquierda y se continua por la derecha. De arriba a abajo.

Referencia al gemelo digital

- Modelo base: https://wokwi.com/projects/415019838041972737
- Modelo final:https://wokwi.com/projects/415501450972843009

Apartado de Energía

Sensor BME280

Este sensor tiene un consumo de 9.24mWh durante la medición y 0.00033 mWh en reposo.

Configuración	Oversampling x1	Oversampling x16	Promedio
Consumo Por Medición	0.0000059 mWh	0.0000333 mWh	0.0000196 mWh
Consumo por día	0.00792 mWh	0.00795 mWh	0.00793 mWh

Sensor DS18B20

Este sensor tiene un consumo de 7.5 mWh durante la medición y 0.0005 mWh en reposo.

Resolución	9 bits	12 bits	Promedio
Consumo por Medición	0.000195 mWh	0.00156 mWh	0.000878 mWh
Consumo por día	0.0122 mWh	0.0136 mWh	0.0129 mWh

Sensor A3144

En reposo consume 5 mWh, cuando está detectando consume como mínimo 22 mWh, como máximo 45 mWh y en promedio consume 33.5 mWh.
El sensor se encontrará detectando durante la mayor parte del día.

LED

La siguiente tabla muestra las principales características de un LED de diodo de 5mm:

Característica	Descripción
Voltaje de operación	3.0 V - 3.2 V
Corriente de operación	20 mA
Consumo de energía	Alrededor de 60 mWh a 3V por hora

Las luces LED tienen un consumo aproximado de 60 mWh. Los leds no estarán prendidos más de 1 hora por día por lo que como máximo consumirá 60 mWh y como mínimo 0 mWh (leds apagados).

Consumo del Sistema

La siguiente tabla muestra el consumo del sistema(sin la placa arduino).
Podemos aproximar que la placa arduino consume unos 50mA. En la semana son 8400mAh o bien 8.4Ah

	Mínimo	Máximo	Promedio
Sistema (por dia)	528.03 mWh	2925.02 mWh	1260 mWh
Sistema (por hora)	22 mWh	121.87 mWh	52 mWh

La energia que necesita el sistema completo para funcionar una semana, como minimo, es de 8.61Ah.
Con un powerbank de 10.000mAh el sistema se logrará mantener encendido una semana de forma segura.
Powerbank de referencia:
https://www.mercadolibre.com.ar/power-bank-cargador-portatil-vention-10000mah-bateria-carga-super-rapida-22w-con-pantalla-conector-usb-c-usb-x-2-color-blanco-celular-iphone-samsung-auriculares-smartwatch-fhkw0/p/MLA42237955#polycard_client=search-nordic&wid=MLA1456725681&sid=search&searchVariation=MLA42237955&position=2&search_layout=stack&type=product&tracking_id=cc99cb8a-ae3f-4cfe-8ab6-4a66eece40de

Descripción del Tipo de Gabinete

Debido a que se decidió utilizar tres modelos de sensores distintos, se describirán tres gabinetes distintos para cada uno:
BME280: sensor encargado de la medición de la humedad. Al estar en contacto con el compost, el gabinete deberá ser de un material resistente a la humedad, calor y corrosión. Dado que el proceso de compostaje genera un ambiente húmedo y ácido, un material posible sería el plástico ABS o policarbonato, que presentan una buena resistencia a la humedad. Por otro lado este deberá estar sellado contra la humedad, para evitar que dañe los componentes internos y presentar una rejilla para facilitar la ventilación. Por último, dado que en el proceso de compostaje las temperaturas pueden ser muy altas, el gabinete deberá estar adaptado para soportar grandes temperaturas sin alterar el correcto funcionamiento del dispositivo. Un tamaño aproximado será 8 x 8 x 4 cm, con una tapa desmontable para facilitar el mantenimiento del sensor.

DS18B20: sensor encargado de la medición de la temperatura. Similar al anterior, dentro de las especificaciones más importantes encontramos la resistencia al calor y la humedad, con

microperforaciones o rejillas para permitir la circulación de aire pero sin permitir el ingreso de agua o algún otro material orgánico. Para este sensor en particular, se hará un mayor énfasis en hallar un material con alta resistencia al calor que sea capaz de soportar temperaturas de hasta 100 °C, como puede ser el plástico ABS o policarbonato. Tendrá un tamaño de aproximadamente 4 x 4 x 4 cm.

A3144: sensor encargado de detectar cuando se abre la tapa del contenedor. No requiere ningún tipo de rejilla, ya que no estará encargado de ninguna medición y por ende no estará trabajando todo el tiempo. Para los materiales se optará por plástico ABS o PVC, económicos pero resistentes tanto a la humedad como al calor excesivo. Tendrá un tamaño compacto por ser el sensor muy pequeño, de aproximadamente 4 x 4 x 2 cm.

Aprendizajes y evidencias

Durante el proceso de desarrollo del proyecto, el primer problema que apareció fue el proceso de selección de los sensores. En un principio, se decidió analizar cómo medir todos los parámetros de operación: temperatura, porcentaje de humedad, relación carbono-nitrógeno, aireación y fracción biodegradable. Luego de un análisis y consultas con docentes, se decidió simplificar el enfoque y concentrarse en medir los dos parámetros más fáciles de medir para un sensor: temperatura y humedad.

Una vez decididos los sensores a utilizar, se comenzó la búsqueda en el mercado de cuáles podrían utilizar. La idea original era utilizar dos sensores por separado, uno para humedad y otro para temperatura. Sin embargo, al seleccionar los sensores, surgió el siguiente problema: la humedad y temperatura dentro de la caja no necesariamente serían las mismas que en el ambiente, lo que resultaría en mediciones inexactas y mala interpretación de los datos.

De esta forma, se decidió utilizar dos sensores: uno colocado por fuera del contenedor para medir la humedad ambiental y otro dentro para registrar la humedad interna. De esta forma, se podría comparar ambas mediciones y obtener un panorama más preciso, relacionando tanto los factores externos como los internos.

En cuanto a los aprendizajes del proceso, la selección de sensores y la resolución de los problemas consecuentes fue una parte crucial del aprendizaje. En primer lugar, el proceso de selección permitió verla importancia de un análisis técnico y profundo del problema a resolver, así como de la evaluación de las diversas opciones y posibilidades para resolverlo, algo clave en el trabajo de un ingeniero. Por otro lado, la aparición de dificultades en el proceso de resolución del problema permitió aprender a adaptarse y ser flexibles en su estrategia original, volviendo al principio y cambiando variables o pasos para superar las dificultades y optimizar la estrategia planteada.

Un último gran aprendizaje fue la importancia de trabajar en equipo, escuchando las opiniones de todos para adaptarlas y llegar a la solución más óptima posible. Consultar con personas fuera del grupo, ya sean compañeros o profesores, también resultó de gran utilidad y demostró que muchas veces es necesario escuchar las opiniones de gente externa al trabajo o proyecto, quienes pueden aportar una perspectiva más fresca al problema y permitir encontrar soluciones antes no pensadas o consideradas.

Referencias

[1]“Implementacion DS18B20,” Wokwi ESP32, STM32, Arduino Simulator. Accessed: Nov. 19, 2024. [Online]. Available: https://wokwi.com/projects/414741676552278017

[2]milesburton, “Arduino-Temperature-Control-Library/DallasTemperature.h at master · milesburton/Arduino-Temperature-Control-Library,” GitHub. Accessed: Nov. 19, 2024. [Online]. Available: https://github.com/milesburton/Arduino-Temperature-Control-Library/blob/master/DallasTemperature.h

[3]J. Studt, “OneWire,” Arduino Libraries. Accessed: Nov. 19, 2024. [Online]. Available: https://www.arduinolibraries.info/libraries/one-wire

[4]“Memoria ICSF 1 : Free Download, Borrow, and Streaming : Internet Archive,” Internet Archive. Accessed: Nov. 19, 2024. [Online]. Available: https://archive.org/details/memoria-icsf-1/Memoria%20ICSF-1.pdf

Anexo

Lista de Cálculos:

Sensor BME280 conectado a 3.3v:
Consumo en reposo(µA) “CR” = 0.1µA
Consumo Midiendo(mA) “CMed” = 2.8mA
Tiempo de medición oversampling x1 (ms) “T1” = 2.3ms = 2.3/3600000 h
Tiempo de medición en oversampling x16 (ms) “T16” = 13ms = 13/3600000 h

para obtener el consumo en mWh: A*V*T (corriente por voltaje por tiempo)
Consumo en reposo(mWh) “CR” = 0.0001mA * 3.3v * 1h = 0.00033 mWh
Consumo Midiendo(mWh) “CMed” = 2.8mA * 3.3v * 1h = 9.24 mWh

Consumo por medición: Cmed*T (consumo en sensado por tiempo de sensado)
Consumo Oversampling x1 “Cox1” = Cmed*T1 = 9.24mWh*2.3/3600000 = 0.0000059 mWh
Consumo Oversampling x16 “Cox16” = Cmed*T16 = 9.24mWh*13/3600000 = 0.0000333mWh

Consumo por día (una medición por día): (24h - TM)*CR + CxM (tiempo en reposo por el consumo en reposo más el consumo por medición)
Consumo Oversampling x1 por día: (24-T1)*CR +Cox1 = 0.00792 mWh
Consumo Oversampling x16 por día: (24-T16)*CR + Cox16 = 0.00795 mWh

Sensor DS18B20 conectado a 5 v:
Consumo en reposo(µA) “CR” = 0.1 µA
Consumo Midiendo(mA) “CMed” = 1.5 mA
Tiempo de Medición 9 bits (ms | h) “T9”: 93.75 ms = 93.75/3600000 h
Tiempo de Medición 12 bits (ms | h) “T12”: 750 ms = 750/3600000 h

para obtener el consumo en mWh: A*V*T (corriente por voltaje por tiempo)
Consumo en reposo(mWh) “CR” = 0.0001 mA * 5v * 1h = 0.0005 mWh
Consumo Midiendo(mWh) “CMed” = 2.8 mA * 3.3v * 1h =7.5 mWh

Consumo por Medición: CM*TM (consumo de medición por tiempo de medición)
Consumo 9 bits (mWh) “C9b”: Cmed*T9 = 0.000195 mWh
Consumo 12 bits(mWh) “C12b”: Cmed*T12 = 0.00156 mWh

Consumo por día (una medición por día): (24h - TM)*CR + CxM
Consumo por día 9 bits (mWh) = (24h - T9)*CR + C9b = 0.0122 mWh
Consumo por día 12 bits (mWh) = (24h - T12)*CR + C12b = 0.0136 mWh

Sensor A1344 conectado a 5v:
En reposo consume 1mA
Mientras detecta consume entre 4.4mA y 9mA
Expresados en mWh: I*V
en reposo = 1mA*5v = 5 mWh
Mientras detecta:
min = 4.4mA*5v = 22 mWh
max = 9mA*5v = 45 mWh
Batería:
El consumo diario mínimo del sistema es de 528.03mWh (suma de todos los consumos de los sensores en su configuración de mínimo consumo y asumiendo que los leds están apagados)
528.03 mWh * 7 = 3696.21mWh.
Como vamos a utilizar baterías de 5v entonces
Capacidad(mA) = (3696.21 mWh)/(5v) = 739.03 mAh

repitiendo el proceso para el máximo:
El consumo diario máximo del sistema es de 2925 mWh (suma de todos los consumos de los sensores en su configuración de máximo consumo y los leds estando prendidos las 24h)
2925 mWh * 7 = 20475 mWh
Capacidad(mA) = (20475 mWh)/(5v) = 4095 mAh

Para el promedio, podemos asumir que los leds están prendidos media hora (como mucho) en cada día.
Si sumamos los consumos de los sensores promediados (el promedio del consumo de sus configuraciones) y a eso le sumamos el consumo de los leds asumiendo que están prendidos media hora al día entonces:
El consumo diario del sistema es 864.02 mWh.
864.02 mWh * 7 = 6048.2 mWh.
pasándolo a Ah entonces
6.0482 Wh/(5v) = 1.21 Ah
El consumo de la placa arduino es difícil de medir por lo que podemos aproximar un consumo máximo de 50mA. En la semana se vería reflejado como 8400mAh o bien 8.4Ah
Capacidad de Batería: 1.21 Ah + 8.4Ah = 8.61 Ah
Led:
Energıa (mWh)= 20 mA × 3 V × 1 h = 60 mWh

Ampliación aprendizaje:

Una de las grandes dificultades del proyecto fue la simulación del proyecto en el wokwi, debido principalmente a la falta de disponibilidad de los sensores seleccionados para trabajar. Se pensaron varias alternativas, como realizar lo que se pudiese en la aplicación y el resto en un dibujo como

acompañamiento, pero finalmente se decidió reemplazar los sensores que no estuviesen disponibles por otros que fuesen similares.